

На правах рукописи
УДК 581.14:582.926.2

Сидоров Игорь Викторович

**Исследование электрофизических свойств двухкомпонентной слоистой
структуры, состоящей из жидких органических веществ**

Специальность 01.04.10 - «Физика полупроводников»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ТОМСК — 2010

Диссертация выполнена на кафедре радиофизики и бионанотехнологии
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Кубанский государственный университет»

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,
доктор биологических наук,
профессор

Барышев Михаил Геннадьевич

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук,
профессор

Копылова Татьяна Николаевна

кандидат физико-математических наук,
доцент

Авдеев Андрей Валерьевич

Ведущая организация:


Технологический институт
Южного федерального университета
в г. Таганроге

Защита состоится 21 октября 2010 г. в 17 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.267.07 при ГОУ ВПО «Томский государственный университет» (634050, г.Томск, пр. Ленина, 36)

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат диссертации разослан « 17 » сентября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико-математических наук

 И.В. Ивонин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В последние годы растет интерес к наноразмерным системам в связи с их уникальными физическими и химическими свойствами, существенно отличающимися от свойств составляющих компонентов. Композиты, состоящие из полупроводниковых органических материалов, имеют многообразное поведение, являющееся отражением сложной внутренней организации и представляют повышенный интерес для различных областей физики, химии, биологии, обусловленный рядом причин: большое научное значение исследований физических характеристик и совокупности электрических, фотоэлектрических и оптических свойств, самоорганизация, биологическая совместимость, химическая и механическая стабильность, способность быстрого и обратимого переключения между проводящим и непроводящим состоянием.

В настоящее время в функциональной электронике наряду с молекулярной, опто-, акусто-, магнито-, микро-, наноэлектроникой, развивается новое направление – негатроника. Значительный интерес представляют физические процессы, связанные с образованием динамических неоднородностей в многослойных структурах, конструирование которых ведется на молекулярном уровне. Коллектив ученых (Касимов Ф.Д., Серьезнов А.Н., Гаряинов С.А., Негоденко О.Н., Филинюк Н.А., Липко С.И., Мирошниченко С.П., Плешко Б.К., Гусейнов Я.Ю., Румянцев К.Е.) Международного научного центра «Негатроника» при Винницком национальном техническом университете занимается исследованием физических механизмов возникновения явлений электрической неустойчивости в тонких пленках, приводящих в определенном режиме к отрицательному значению основного дифференциального параметра, – активного сопротивления.

Сотрудникам физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН Э.А. Лебедеву, М.Я. Гойхману, К.Д. Цендину, И.В. Подешво, Е.И. Терукову и В.В. Кудрявцеву удалось обнаружить в тонких пленках металл-полимерного комплекса полиамидокислоты с Tb^{+2} проявление токовой неустойчивости в виде S-образной вольт-амперной характеристики.

В Таганрогском государственном радиотехническом университете В.С. Клопченко наблюдал эффект отрицательного сопротивления в синтетических полупроводниковых алмазах. Для управления основными параметрами переключателей (тока и напряжения срыва, остаточного тока и напряжения) кристаллы подвергались обработке высоковольтными импульсами. Исследования В.С. Клопченко показывают, что эффект отрицательного сопротивления обусловлен созданием сильного электрического поля в кристалле, который приводит к процессу шнурования тока по дислокационной структуре алмаза. При достижении полей ($10^5 - 10^6$) В/м под влиянием тепловой генерации носителей заряда происходит изменение проводимости по оборванным связям дислокаций, что приводит к образованию шнура и лавинообразному возрастанию тока.

В.Л. Бонч-Бруевич и И.А. Курова обнаружили новое явление при исследовании электрических свойств Ge:Au при водородных температурах. Они выяснили, что при повышении электрического поля в цепи с образцом возникают низкочастотные колебания.

В Приднестровском государственном университете им. Т.Г. Шевченко Э.А. Сенокосов и В.В. Сорочан исследовали переключения S-типа в поликристаллических слоях nCdTe:In толщиной 20-500 мкм и сопротивлением $10 \cdot 10^4$ Ом·м. Образцы были получены на стеклянных и сапфировых подложках методом вакуумного напыления в квазизамкнутом объеме. Авторы сделали выводы о том, что особенности вольт-амперной характеристики (ВАХ) слоев nCdTe:In указывают на то, что в основе их переключения S-типа лежит механизм теплового пробоя и что явление S-переключения носит объемный характер.

В Кубанском государственном университете группа ученых (И.Л. Яманов, М.Г. Барышев, Г.П. Рубцов, В.Н. Черный, М.А. Жужа, Г.П. Ильченко,) во главе с Б.С. Муравским исследовали физические процессы, вызывающие возникновение рекомбинационной неустойчивости тока в кремниевых эпитаксиальных p⁺-n-структурах с локальным контактом на n-области, который получали посредством введения примесных атомов, создающих в запрещенной зоне кремния глубокие энергетические уровни. Также были обнаружены неравновесные электронные процессы в транзисторных структурах с туннельно-прозрачным окислом, где при напряжениях и уровнях инжекции, приводящих к срыву колебаний, на ВАХ возникает участок с отрицательным сопротивлением.

В настоящее время результаты систематических исследований пленочных структур, где в качестве объекта исследования являются органические вещества, практически отсутствуют; лишь ограниченное число работ посвящено изучению неравновесных систем и физических механизмов возникновения явлений электрической неустойчивости, приводящей к отрицательному дифференциальному сопротивлению. А исследование композитов состоящих из синтетического красителя анилина и водного раствора тиазинового красителя метиленового голубого или водного раствора пурпурного красителя фуксина до сих пор не проводилось.

Следовательно, исследование электрофизических характеристик двухкомпонентной слоистой структуры на основе органических красителей, обладающих полупроводниковыми свойствами, в теоретическом и практическом аспектах является актуальной задачей.

Цель диссертационной работы:

Исследование электрофизических характеристик двухкомпонентной пленочной структуры, состоящей из органических красителей.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить **задачи**:

1. провести поиск состава компонентов для создания двухкомпонентной пленочной структуры, состоящей из органических материалов;
2. исследовать возможность генерации электрических колебаний в двухкомпонентной пленочной структуре, созданной на основе органических материалов;
3. исследовать электрофизические характеристики двухкомпонентной пленочной структуры, состоящей из органических материалов;
4. исследовать наличие выпрямляющего контакта в двухкомпонентной слоистой структуре, состоящей из органических красителей;
5. исследовать возможность практического применения двухкомпонентной пленочной структуры, состоящей из органических материалов.

Методы исследования.

Для исследования зависимости емкости области пространственного заряда (ОПЗ), прилегающей к активному электроду (АЭЛ) от разности потенциалов между активным и пассивным электродами, использовали импедансметрический метод.

Применяемый вольт-амперметрический метод, позволял снимать вольт-амперную характеристику созданной слоистой структуры в зависимости от различных электрофизических и геометрических свойств и регистрировать значение критического напряжения возникновения колебаний и неустойчивость тока.

С помощью осциллографа изучали кинетику переключения, фиксировали основные электрофизические параметры и визуально наблюдали колебания.

Обоснованность и достоверность результатов полученных в диссертации обеспечена применением апробированных экспериментальных методик, комплексным характером исследований, совпадением данных независимых экспериментов, ясной физической картиной изучаемых явлений, хорошо согласующейся с принципами функционирования полупроводниковых элементов, сравнением отдельных результатов с данными других авторов.

Построена математическая модель распределения потенциала в ОПЗ АЭЛ двухкомпонентной слоистой структуры, с помощью которой обоснованы и подтверждены значения критического напряжения возникновения колебаний.

Научная новизна работы.

1. Создана двухкомпонентная пленочная структура, отличающаяся тем, что представляет собой композицию органических веществ - синтетического красителя анилина и водного раствора тиазинового красителя метиленового голубого или водного раствора пурпурного красителя фуксина.
2. Показано, что созданная структура способна генерировать электрические колебания, является динамической колебательной системой.
3. Обнаружена токовая неустойчивость в виде S-образной вольт-амперной характеристики в двухкомпонентных пленочных структурах представляющих собой композицию органических веществ - синтетического красителя анилина и водного раствора тиазинового красителя метиленового голубого или водного раствора пурпурного красителя фуксина.
4. Определены необходимые и достаточные условия возникновения неустойчивости тока в созданной структуре.

Основные этапы исследования.

1. Поиск и подбор элементов для создания устройства. Сборка функционального устройства на основе органических полупроводниковых веществ.
2. Исследование возможности генерации электрических колебаний в двухкомпонентной пленочной структуре, созданной на основе органических веществ.
3. Изучение электрофизических характеристик созданной структуры; исследование влияния на параметры колебаний расположения электродов; исследование наличия выпрямляющего контакта в двухкомпонентной слоистой структуре, состоящей из органических красителей.
4. Исследование возможности создания функционального устройства микроэлектроники и практического применения функциональной структуры в качестве активного схемотехнического элемента.

Теоретическая значимость и прикладная ценность результатов.

Описаны процессы, происходящие на границе раздела двух сред - туннелирование электронов с поверхностных состояний через треугольный барьер в зону проводимости водного раствора органического полупроводника и инжекция дырок через тонкую пленку в p-область структуры.

На основе анализа модели и эквивалентных схем двухслойной структуры выявлены закономерности, определяющие параметры колебаний, возникающих при неустойчивости тока, исследовано влияние на них технологических факторов, что позволяет изготавливать структуры с прогнозируемыми параметрами.

На основе эффекта неустойчивости тока разработаны и защищены патентами на изобретение «способ генерирования электрических колебаний с частотами, близкими к наблюдаемым у биологических объектов» и «генератор электрических колебаний» отличительной чертой и существенным преимуществом которых, по сравнению с известными аналогами, является биосовместимость, самоорганизация, образование упорядоченных временных и пространственных структур.

Разработан датчик акустических колебаний, отражающий изменение частоты вырабатываемых колебаний от мощности акустических колебаний при постоянной разности потенциалов между активным и пассивным электродами к p-области и постоянной величиной тока через p- и n-области.

Апробация работы.

Основные положения диссертации были доложены на научных конференциях и семинарах:

- Всероссийская научно-техническая конференция «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», Махачкала, ИПЦ ДГТУ, 19-20 июня 2003г.
- Восьмая всероссийская научно-техническая конференция (Computer-Based Conference) «Современные проблемы математики и естествознания», Нижний Новгород, апрель 2004 г.
- Третья общероссийская конференция с международным участием «Новейшие технологические решения и оборудование», Кисловодск, 19-21 апреля 2005г.
- Восемнадцатая межреспубликанская научная конференция «Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий», Краснодар, КГУ, 23 апреля 2005г.
- Международная научно-практическая конференция «Нанотехнологии - производству», Фрязино, 30 ноября – 1 декабря 2005г.
- Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов - 2006», МГУ, 13-17 апреля, 2006г.
- Вторая Всероссийская конференция молодых ученых «Физика и химия высокоэнергетических систем», г. Томск, ТГУ, 4-6 мая 2006г.
- Десятая международная научная конференция и школа-семинар «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники», с. Дивноморское, 24-29 сентября 2006г.
- Международная научно-практическая конференция «Нано- биотехнология в производстве продуктов функционального назначения». Краснодар, КНИИХП, 2007г.

- Первая Всероссийская конференция «Физика и технология аморфных и наноструктурированных наноматериалов и систем», Рязань, РГРУ, 1-6 декабря 2008г.
- Общероссийская научная конференция с международным участием «Инновационные медицинские технологии», Москва, 17-18 ноября 2009г.
- Международная научно-практическая интернет-конференция «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010», УКРНИ-ИМФ, ОНМУ, проект SWorld, 15-26 марта 2010г.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Двухслойная пленочная структура, состоящая из области с веществом с проводимостью n-типа – анилин и раствора, имеющего включения в своем составе обладающие проводимостью р-типа – фуксин или метиленовый голубой является динамической колебательной системой.

2. Возникающие в структуре колебания тока обусловлены неравновесным периодическим изменением заполнения поверхностных состояний, которые определяют существование потенциального барьера на границе раздела окисел-полупроводник, под действием приложенного к выпрямляющему контакту металла с полупроводником напряжения от 30 до 70 В или структуры металл-туннельно-прозрачный окисел-полупроводник напряжения от 5 до 70 В.

3. Факторами, определяющими возникновение колебаний тока являются:

- накопление неосновных носителей заряда в области пространственного заряда, инжектируемых из р-области, которое подтверждается ростом емкости области пространственного заряда при увеличении разности потенциалов между активным и пассивным электродами;

- наличие положительной обратной связи по току, которая приводит к появлению участка S-типа на вольтамперных характеристиках двухкомпонентных пленочных структур измеренных в режиме генератора тока;

- наличие в цепи положительной обратной связи реактивного сопротивления – емкости р-n-перехода.

4. Разработанный на основе результатов исследований функциональный датчик акустических колебаний, чувствительность которого составляет 2000 (Гц·см²)/мВт, осуществляет преобразование акустических колебаний в частоту следования электрических импульсов.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 33 работы, отражающие основные научные результаты диссертации и перечисленные в конце автореферата, из них: 2 патента на изобретения, 3 статьи в научных журналах рекомендованных ВАК РФ, 1 депонированная рукопись через ВИНТИ, 6 статей в периодических журналах, 13 тезисов и докладов Международных конференций и 8 тезисов и докладов Всероссийских конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав (обзор литературы, материалы и методы исследований, описание результатов собственной экспериментальной работы и их обсуждение), заключения, выводов, списка цитируемой литературы и приложения. Общий объем составляет 155 страниц (1 страница - приложение) и содержит 2 таблицы и 70 рисунков. Список литературы включает 250 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* обоснован выбор темы и ее актуальность, сформулированы целевая установка и задачи, указан объект и предмет исследования. Сообщено в чем заключается научно-практическая значимость работы, показана новизна полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор работ, посвященных общим закономерностям темновой проводимости органических полупроводников, анизотропии проводимости, механизму электропроводности через биосистемы, температурным и барическим зависимостям сопротивления и другим исследованиям электрофизических свойств органических полупроводников.

Рассмотрены устройства функциональной микро- и наноэлектроники, негатроники созданные на основе органических и неорганических полупроводников. Показано, что в ряде рассмотренных работ наблюдается токовая неустойчивость с S-образной вольт-амперной характеристикой.

Во *второй главе* изложена методика проведения экспериментов по исследованию физических свойств растворов органических полупроводников и технология изготовления функциональных генераторов на их основе.

Для изготовления двухкомпонентной структуры (рис.1) использовалась емкость цилиндрической формы с высотой 3 мм и диаметром 3 мм из диэлектрического материала. Первым в емкость заливали водный раствор красителя – фуксина (метиленового голубого) объемом $2,4 \cdot 10^{-6}$ дм³. Затем на его поверхность наносили с помощью шприца одну каплю анилина объемом $1,6 \cdot 10^{-6}$ дм³, которая растекалась, образуя тонкую пленку. С помощью микроманипуляторной установки позволяющей регулировать перемещение двух игл-электродов **1** и **2** в трехмерном пространстве, создавался контакт с поверхностью анилина. Электрод **1** к n-области, к которому прикладывался отрицательный потенциал источника питания, мы назвали *активным электродом* (АЭЛ), электрод **2** к p-области – *пассивным* (ПЭЛ). Диаметр игл составлял 0,5 и 0,25 мм. Заточка игл производилась электрохимическим способом в 5 % растворе КОН. Для наблюдения неустойчивости тока (НТ) между двумя электродами к раствору, содержащему n-полупроводник подавалась разность потенциалов от 5 до 70 В.

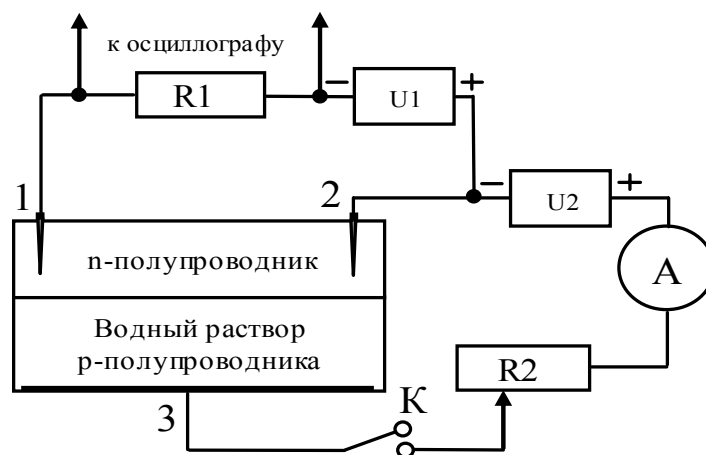


Рис.1. Схема структуры созданной на основе жидких полупроводников

Электрический контакт к нижнему слою структуры осуществлялся с помощью электрода находящегося на дне емкости. В ходе эксперимента использовались электроды из вольфрама, платины, нержавеющей стали. Диаметры электродов составляли 1,5, 2, и 3 мм.

Для задания величины тока протекающего между водным раствором, содержащим р-полупроводник, и находящимся на его поверхности п-полупроводником использовали генератор тока.

В *третьей главе* приведены ВАХ слоистых структур, выполненные из различных материалов при подключении их к источнику по схеме, аналогичной подключению транзистора по схеме с общей базой. Показано, что в зависимости от режима работы на динамической ВАХ АЭЛ в неравновесных условиях может наблюдаться участок дифференциального отрицательного сопротивления, определяющий нарастание тока через структуру.

Типичные семейства ВАХ новых структур измеренные в режиме генератора тока представлены на рис.2. Участок ВАХ на котором наблюдаются колебания выглядит размытым на экране характериографа и схематически область размытия показана заштрихованной.

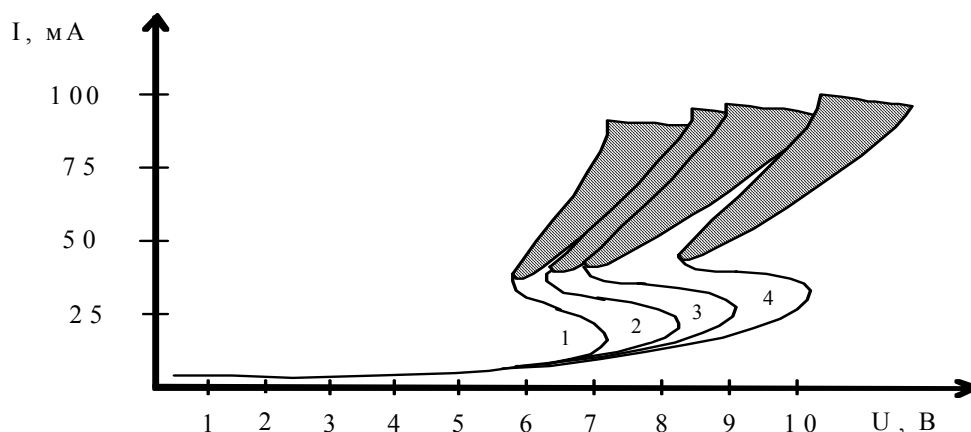


Рис.2. Семейство вольт-амперных характеристик структуры созданной на основе водного раствора фуксина (с=30 %) и анилина: 1 - расстояние между электродами - 0,5 мм; 2 - 1 мм; 3 - 1,5 мм; 4 - 2,5 мм

Переключение образца из высокоомного состояния в низкоомное вначале объясняли тем, что проявление токовой неустойчивости в виде S-образной ВАХ связано с электронно-тепловым переключением. Для доказательства этого предположения было решено уравнение теплового баланса в анилине (1).

$$pdt = cmdT - \left(-\varphi \frac{T - T_k}{d} Sdt \right), \quad (1)$$

где pdt - кол-во теплоты, выделяющееся за время dt , по закону Джоуля-Ленца;

$cmdT$ - количество теплоты, поглощаемое анилином для нагревания;

$-\varphi \frac{T - T_k}{d} Sdt$ - количество теплоты, утекающее из области анилина по закону Фурье

Получили зависимость температуры от времени (2) при возможности изменения разности потенциалов на активном и пассивном электродах и построили зависимость в программе MATLAB (рис.3):

$$T = T_k + \frac{U^2 d}{\varphi RS} \left(1 - e^{-\frac{\varphi St}{cmd}}\right), \quad (2)$$

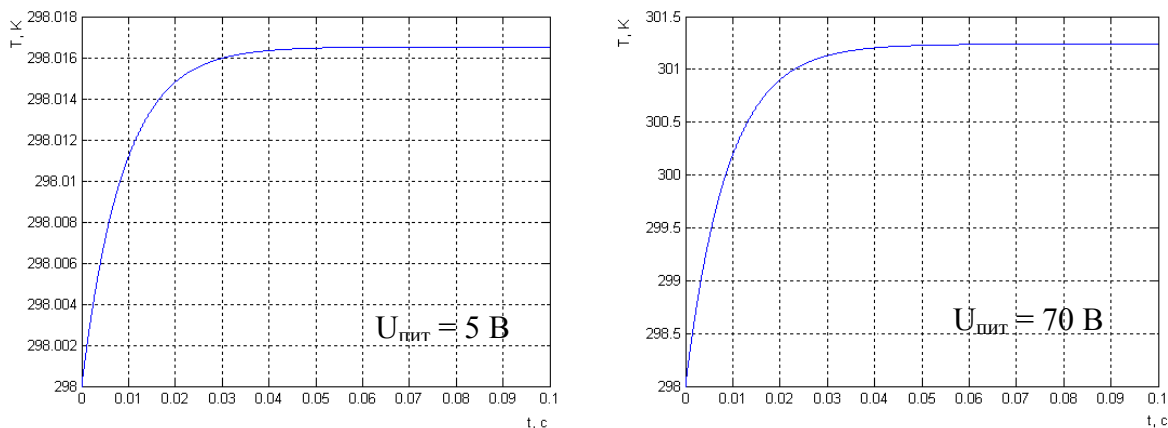


Рис.3. Зависимость температуры от времени при изменении разности потенциалов ($U_{пит}$) на активном и пассивном электродах

При подаче на образец напряжения 5 В температура структуры повышается на 0,016 °С, а при максимальном напряжении 70 В - на 3,5 °С.

Максимальная разность температур исследуемого объекта и окружающей среды измеренная с помощью тепловизора ТН5104R составляла 4 °С при подаче электрического тока 150 мкА между пассивным электродом и электродом, расположенным на дне ванны и при разности потенциалов между активным и пассивным электродами 70 В. Поэтому модель, связанная с электронно-тепловым переключением - неправдоподобна.

В связи с тем, что структура имеет малые размеры, расстояние между электродами от 0,1 до 2,5 мм, ширина области пространственного заряда колеблется от 13 до 44 нм, значение напряженности на острие электродов лежит в пределах от 50 (кВ/м) до 0,7 (МВ/м), рассматривали модель, в основе которой лежит электронный пробой ОПЗ под активным электродом. То есть наблюдается явление резкого возрастания силы электрического тока в слабо электропроводной среде – анилин с последующим восстановлением.

Было подсчитано время восстановления системы после пробоя и время релаксации, которое характеризует время разрядки барьерной емкости C_6 через сопротивление R_2 ($\tau_c = 1,15 \cdot 10^{-5}$ сек). Отсюда частота релаксационных колебаний, возникающих вследствие электрического пробоя, равна $f = 0,87 \cdot 10^5$ Гц.

Как показали наши исследования, наиболее вероятным процессом, определяющим возникновение тока при приложении напряжения к структуре, является туннельная эмиссия электронов из поверхностных состояний в зону проводимости, через барьер ОПЗ. Согласно этой модели возникновение колебаний обусловлено процессами, возникающими в приконтактной области активного

электрода. Для вычисления емкости АЭЛ была построена математическая модель распределения потенциала в области поверхностного заряда АЭЛ двухкомпонентной слоистой структуры, с помощью уравнения Пуассона, которое учитывает подаваемое на структуру напряжение:

$$\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} = \frac{e(N_d + p_s(U_a))}{\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (3)$$

где $\varphi(x)$ — распределение потенциала в ОПЗ;
 x - ширина области пространственного заряда;
 p_s – концентрация избыточных дырок;
 N_d – концентрация доноров;
 U_a – напряжение на активном контакте.

Интегрируя уравнение Пуассона, используя граничные условия $\begin{cases} \varphi(l) = 0; \\ \varphi(0) = \varphi_0. \end{cases}$ и $\left(\frac{d\varphi}{dx}\right)_l = 0$, и подставляя значение l (ширина ОПЗ) в формулу емкости сферического конденсатора $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}$, где R_1 – радиус ОПЗ, R_2 – радиус острия иглы, построили график зависимости $C_{\text{аэл}}$ от U_a (рис.4).

Для подтверждения зависимости были исследованы C-V характеристики структуры с помощью импеданс-метра.

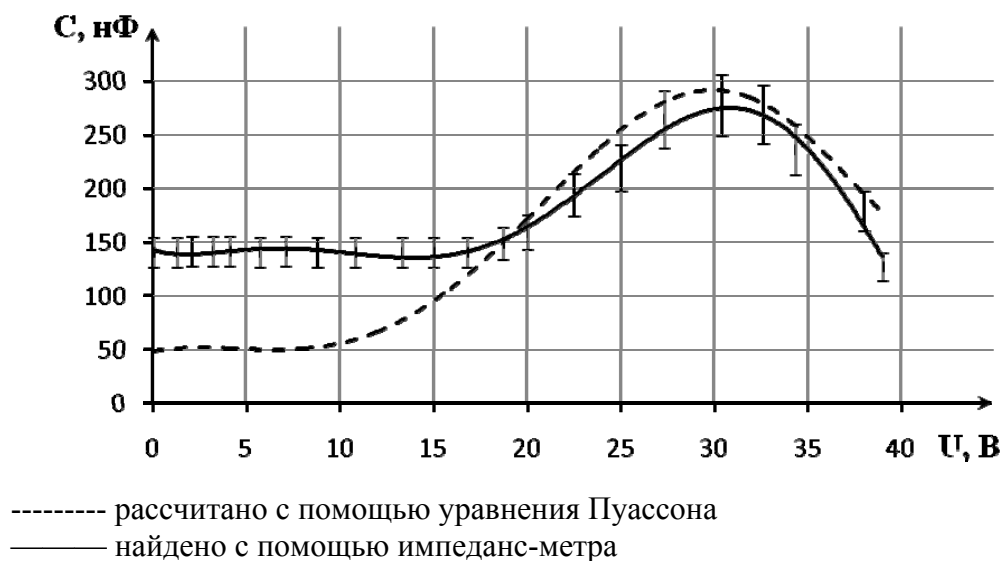


Рис.4. Зависимость величины емкости ОПЗ прилегающей к АЭЛ от разности потенциалов между активным и пассивным электродами

Вид зависимости емкости на АЭЛ от разности потенциалов между активным и пассивным электродами подтверждаются экспериментально. Наблюдается возрастание емкости до приложенного напряжения 30 В, уменьшение ширины ОПЗ и увеличение барьерной емкости АЭЛ. При приложении напряжения более 30 В между активным и пассивным электродами наблюдаются релаксационные колебания. С увеличением напряжения происходит накопление дырок под активным электродом и область пространственного заряда сужается,

что ведет к увеличению емкости. После начала генерации электрических импульсов ширина ОПЗ увеличивается, поэтому средняя емкость уменьшается.

Получены результаты исследований динамических электрических характеристик (длительность импульса, период колебаний, амплитуда колебаний, критическое напряжение возникновения колебаний) от размерных эффектов, от площади АЭЛ и расстояния между АЭЛ и выводом базы. Полученные результаты хорошо согласуются с моделью, в основе работы которой лежит процесс заполнения базы неосновными носителями и напрямую зависящий от него размерный эффект сужения ОПЗ.

Проведенные исследования параметров НТ свидетельствуют о наличии выпрямляющего контакта. Модель, объясняющая возникновение колебаний как результат перезарядки поверхностных состояний базируется на существовании дырочного тока из водного раствора содержащего органический краситель, что предполагает наличие р-п-перехода на границе пленки анилина и раствора. Для проверки этого предположения была собрана схема, представленная на рис.5 для определения коэффициента выпрямления $K = I_{пр}/I_{обр}$ (при $U_{пр}=U_{обр}$) и было проведено измерение ВАХ в диодном режиме (рис.6). Коэффициент выпрямления р-п-перехода для композита 50 % водный раствор фуксина и анилин равен 12; для композита 50 % водный раствор метиленового голубого и анилин равен 10.

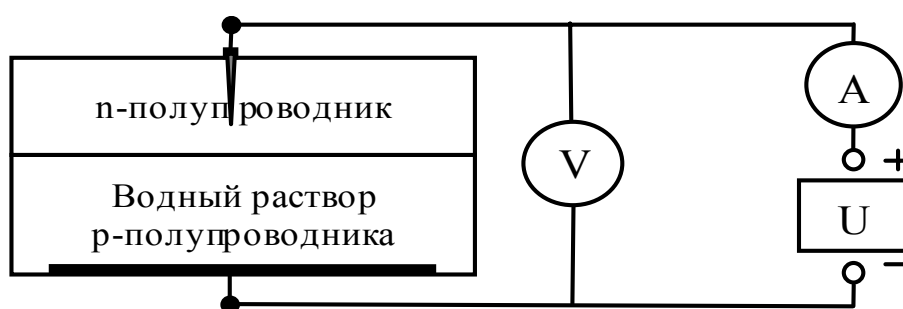


Рис.5. Схема для определения коэффициента выпрямления

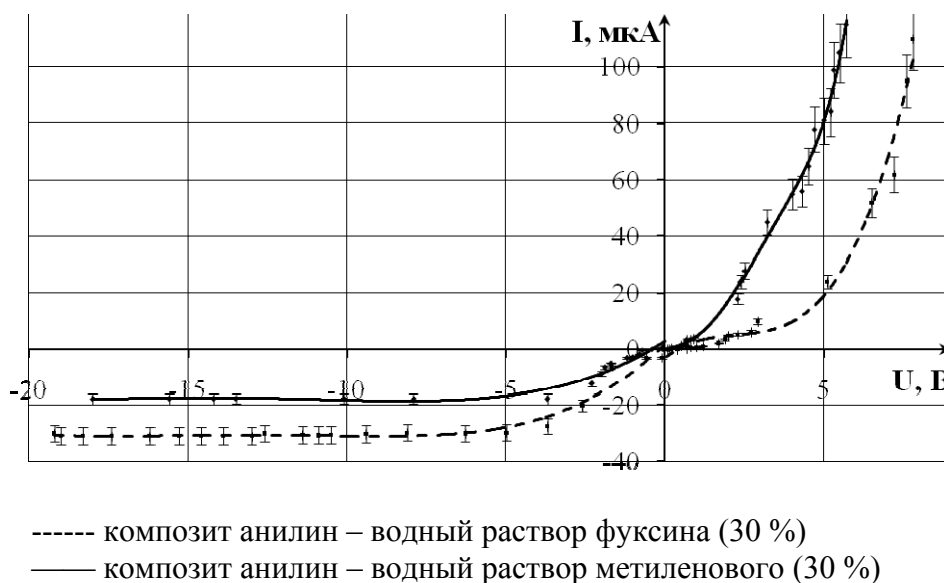


Рис.6. Вольтамперная характеристика композитной структуры

При пропускании через водный раствор фуксина (метиленового голубого) и пленку анилина гармонического сигнала с частотой от 1 Гц до 30 кГц на экране осциллографа наблюдался искаженный синусоидальный сигнал (рис.7). При этом один полупериод сигнала проходил через цепь без искажения, а амплитуда другого составляла 45 % от исходного, что также подтверждает наличие у созданной структуры выпрямляющих свойств.

Выпрямляющий эффект наблюдался только тогда когда первоначально подаваемое напряжение на структуру соответствовало частотам от 1 до 220 Гц. Дальнейшее увеличение частоты до максимального указанного диапазона 30 кГц приводило также к искажению одной полуволны синусоиды.

Если же первоначально на структуру подавались гармонические колебания с частотой более 220 Гц, то на экране осциллографа мы наблюдали идеальную неискаженную синусоиду, то есть выпрямительные свойства отсутствовали за счет паразитной емкости.

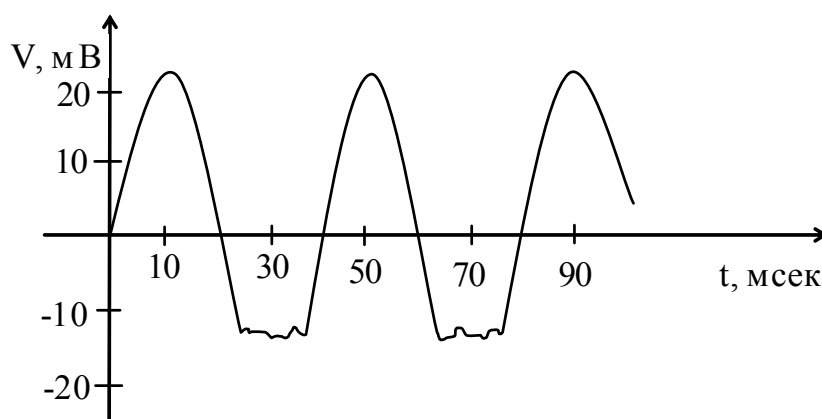


Рис.7. Искаженные однополупериодные колебания при приложении к p-области положительного потенциала и к водному раствору фуксина отрицательного потенциала.

В четвертой главе проведены исследования влияния акустических колебаний (АК) на изменение физико-химических свойств водных растворов, из которых создавалась p-область созданной слоистой структуры. Определены частотные, временные зависимости изменения электропроводности, при воздействии на водные растворы АК и определена связь исследованных параметров с частотой колебаний и критическим напряжением их возникновения.

Был создан макет датчика акустических колебаний на основе новой функциональной структуры, осуществляющей прямое преобразование мощности акустических колебаний в частоту электрических колебаний в виде последовательности импульсов. На рис.8 отображено изменение частоты вырабатываемых колебаний созданных датчиком от мощности акустических колебаний, излучаемых индукционным вибратором на фиксированной частоте 100 Гц. Разность потенциалов между АЭЛ и другим электродом к p-области составляет 5 В. Величина тока через p- и n-области составляла 50 мкА.

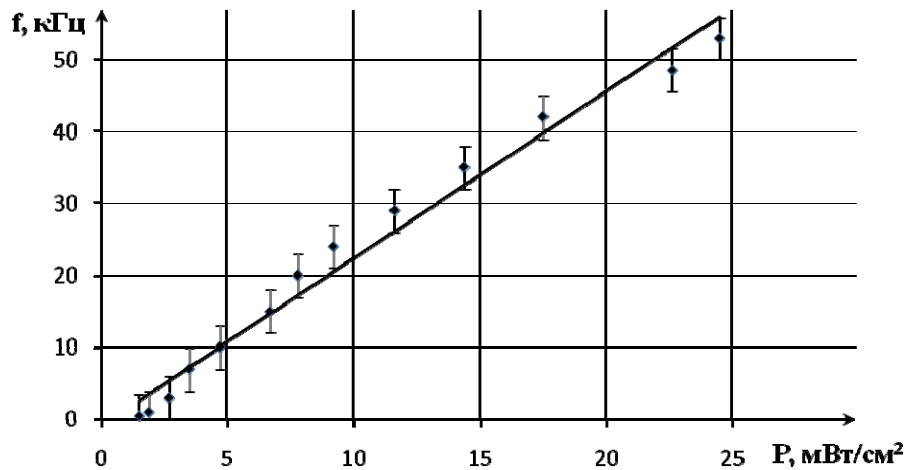


Рис.8. Зависимость изменения частоты колебаний вырабатываемых функциональным датчиком от мощности акустических колебаний

Наблюдается близкое к линейному изменение частоты релаксационных колебаний в пределах плотностей потока мощности акустических колебаний от 2 до 24 мВт/см². Величина чувствительности датчика составила 2000 (Гц·см²)/мВт и была посчитана по следующей формуле:

$$K = \frac{\Delta f}{\Delta P}, \quad (4)$$

где Δf - частота датчика (Гц);
 ΔP - акустическая мощность (Вт/см²).

Выводы и основные результаты работы:

1. Анализ опубликованных работ, посвященных исследованию электрофизических свойств в сложных многослойных структурах, показывает, что инжекционная неустойчивость объясняется процессами накопления неосновных носителей заряда в области поверхностного заряда; механизмом электронно-теплового переключения, учитывающим нелинейность ВАХ; существованием в системе одно-, двух- и более субдоменных состояний и переходов типа порядок-беспорядок, осуществляемых через перемежаемость или нестандартный сценарий перехода к хаотическому состоянию.
2. Найден состав компонентов для генерации электрических колебаний в двухкомпонентной слоистой структуре, а именно: анилин в качестве n-полупроводника и водные растворы фуксина и метиленового голубого концентрациями от 1 до 50 % в качестве p-полупроводника.
3. Установлены и объяснены зависимости основных динамических электрических параметров неустойчивости тока (критического напряжения, амплитуды и длительности импульсов и периода их повторения) от физико-химических и топологических характеристик слоистых полупроводниковых структур (распределенное сопротивление p-n-перехода, вольтамперная характеристика

контакта металл-жидкий органический полупроводник), которые в свою очередь определяются конструктивно-технологическими параметрами.

4. Показано, что особенности вольт-амперных характеристик двухкомпонентных структур во многом обусловлены геометрией структуры, взаимным расположением активного и пассивного электродов, прикладываемым напряжением между электродами и пропускаемым током через структуру.
5. Показано, что наличие участков отрицательной дифференциальной проводимости S-типа является необходимым, но не достаточным условием существования колебаний. Это определяет наличие положительной обратной связи по току, обусловленной физическими процессами в активном электроде и изменением уровня инжекции дырок из *p*-области за счет изменения тока активного электрода, протекающего по распределенному сопротивлению базы при наличии умножения тока на активном электроде.
6. Объяснена генерация электрических колебаний с помощью модели связанной с перезарядкой поверхностных состояний и модели связанной с электронным пробоем ОПЗ под АЭЛ.
7. Установлено, что в процессе возникновения неустойчивости тока в структурах важную роль играет взаимное влияние процессов в *p-n*-переходе и активном контакте. Возникновению НТ способствует состояние *p-n*-перехода, вызванное протеканием тока активного электрода, и перезарядка его барьерной емкости.
8. Подтверждена модель на основе уравнения Пуассона для области пространственного заряда активного электрода структуры, результаты решения которого согласуются с экспериментальными данными.
9. Доказано наличие выпрямляющего контакта в двухкомпонентной структуре.
10. Исследовано влияние акустических колебаний на изменение физико-химических свойств веществ, обладающих проводимостью *p*-типа и содержащихся в водных растворах, из которых создавалась *p*-область слоистой структуры способной генерировать релаксационные колебания. Определена связь исследованных параметров с частотой колебаний и критическим напряжением их возникновения в двухкомпонентных структурах.
11. Установлена возможность создания функциональных приборов на основе эффекта неустойчивости тока в слоистых структурах, выполненных на основе растворов жидких органических веществ. В частности, создан макет датчика акустических колебаний на основе органических полупроводников, имеющих схожую природу с биологическими объектами.
12. Установлена возможность создания функциональных устройств микро- и нанoeлектроники на основе результатов проведенных электрофизических исследований слоистых структур выполненных с помощью жидких органических веществ, обладающих полупроводниковыми свойствами.

Основные положения диссертации опубликованы в 33 работах:

Патенты на изобретение:

1. Пат. 2285981 Российская Федерация, МПК⁷ Н 01 L 51/30. Генератор электрических колебаний / Барышев М.Г., Евдокимова О.В., Сидоров И.В., Коржов А.Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО КубГУ.- № 2005116371/28; заявл. 30.05.05; опубл. 20.10.06, Бюл. № 29 (2 ч.).-С.393:ил.
2. Пат. 2285982 Российская Федерация, МПК⁷ Н 01 L 51/30. Способ генерирования электрических колебаний с частотами, близкими к наблюдаемым у биологических объектов / Барышев М.Г., Евдокимова О.В., Сидоров И.В., Коржов А.Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО КубГУ.- № 2005116372/28; заявл. 30.05.05; опубл. 20.10.06, Бюл. № 29 (2 ч.).-С.393:ил.

Работы, опубликованные в научных журналах рекомендованных ВАК РФ:

3. Барышев М.Г., Сидоров И.В., Копытов Г.Ф., Коржов А.Н. О механизме неустойчивости тока в органическом полупроводнике//Известия высших учебных заведений. Физика.- 2005.- № 11.- С.3-5.
4. Барышев М.Г., Васильев Н.С., Ильченко Г.П., Копытов Г.Ф., Коржов А.Н., Сидоров И.В. Исследования электрофизических характеристик органических полупроводниковых пленок//Известия высших учебных заведений. Физика.- 2007.- № 6.- С.80-83.
5. Барышев М.Г., Копытов Г.Ф., Сидоров И.В. Механизм неустойчивости тока в двухкомпонентной слоистой структуре, состоящей из органических жидкостей с полупроводниковыми свойствами//Известия высших учебных заведений. Физика.- 2010.- Т.53.- № 5.- С. 46-52.

Депонированная рукопись через ВИНТИ:

6. Сидоров И.В., Барышев М.Г., Коржов А.Н. Новый элемент молекулярной электроники // Деп. В ВИНТИ РАН 01.08.05 № 1119-В2005.

Работы, опубликованные в периодических журналах:

7. Барышев М.Г., Куликова Н.Н., Сидоров И.В. Электромагнитные поля и окружающая среда//Экология и промышленность России.- 2002.- № 5.- С.42-43.
8. Барышев М.Г., Сидоров И.В., Евдокимова О.В., Коржов А.Н., Куликова Н.Н. Результаты поисковых исследований по созданию функциональных приборов для биоэлектроники//Вестник Южного научного центра РАН.- 2005.- Т.1.- № 4.- С.18-21.
9. Барышев М.Г., Сидоров И.В., Г.П. Ильченко, А.Н. Коржов О возможности использования нового физического явления неустойчивости тока для экологических исследований//Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности.- 2006.- № 1.- С.128-131.
10. Сидоров И.В., Барышев М.Г., Коржов А.Н. О неустойчивости тока обнаруженной в тонких пленках анилина расположенного на поверхности водного раствора фуксина//Современные наукоемкие технологии.- 2006.- № 4.- С.91-92
11. Сидоров И.В., Барышев М.Г., Коржов А.Н. Использование эффекта неустойчивости тока в тонких пленках анилина расположенного на поверхности водного раствора фуксина для создания функциональных приборов//Современные наукоемкие технологии.- 2006.- № 4.- С.92-93.
12. Сидоров И.В. Исследование электрофизических свойств в двухкомпонентной слоистой структуре, состоящей из органических красителей, обладаю-

щих полупроводниковыми свойствами//Фундаментальные исследования.– 2009.- № 9.- С.91-93.

Работы, опубликованные в тезисах и докладах Международных конференций:

13. Сидоров И.В. О создании нового функционального прибора: Сборник тезисов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2005». - М.: МГУ, 2005.-С.35-36.
14. Барышев М. Г., Сидоров И. В. Влияние акустических колебаний на микроорганизмы: Материалы восьмой международной научно-практической конференции «Наука и образование - 2005».- Днепропетровск, 2005.- Т.10. - Биология.- С.9-11.
15. Сидоров И.В. Об эффекте неустойчивости тока на границе раздела металл-органическая пленка-водный раствор органического полупроводника: Труды Международной научно-практической конференции «Нанотехнологии - производству». - М.: Концерн «Наноиндустрия», 2005. – С.155-158.
16. Сидоров И.В. Использование эффекта неустойчивости тока в тонких пленках анилина, расположенного на поверхности водного раствора глюкозы, для создания функциональных приборов: Труды Международной научно-практической конференции «Нанотехнологии - производству».-М.: Концерн «Наноиндустрия», 2005. – С.159-160.
17. Барышев М.Г., Сидоров И.В., Коржов А.С. О новом механизме генерирования электрических колебаний в органических растворах: Материалы 18 межреспубликанской научно-практической конференции. – Краснодар: КГУ, 2005. – С.270.
18. Сидоров И.В. Исследование C-V характеристик новых двухслойных структур генерирующих релаксационные колебания тока: Сборник тезисов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2006».-М.: МГУ, 2006. – С.30-32.
19. Барышев М.Г., Сидоров И.В., Евдокимова О.В., Коржов А.Н., Джимаков С.С. Неустойчивость тока в жидких органических полупроводниках: Труды десятой международной научной конференции и школы-семинара «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники». – Таганрог: ТГРУ, 2006. – С.22-23.
20. Сидоров И.В., Барышев М.Г., Евдокимова О.В., Васильев Н.А. Исследование C-V характеристик органических генерирующих структур: Труды десятой международной научной конференции и школы-семинара «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники». – Таганрог: ТГРУ, 2006. – С.24-27.
21. Барышев М.Г., Васильев Н.С., Евдокимова О.В., Сидоров И.В., Джимаков С.С. Формирование нанокластеров в воде. Сборник статей Международной научно-практической конференции «Нано биотехнология в производстве продуктов функционального назначения» Краснодар, КНИИХП, 2007. – С.39-40.
22. Барышев М.Г., Сидоров И.В. Исследование изменения электрофизических характеристик жидких полупроводников под воздействием акустических колебаний. Сборник статей Международной научно-практической конференции «Нано биотехнология в производстве продуктов функционального назначения». Краснодар, КНИИХП, 2007. – С.40-42.

23. Барышев М.Г., Евдокимова О.В., Сидоров И.В. О создании динамических нанообъектов в жидкости. Сборник статей Международной научно-практической конференции «Нано биотехнология в производстве продуктов функционального назначения». Краснодар, КНИИХП, 2007. – С.42-43.
 24. Барышев М.Г., Сидоров И.В. О возможности использования органических полупроводниковых жидкостей для создания медико-биологических приборов Сборник статей Международной научно-практической конференции «Нано биотехнология в производстве продуктов функционального назначения». Краснодар, КНИИХП, 2007. – С.43-44.
 25. Сидоров И.В. Действие акустических колебаний на водные растворы фуксина Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010», Том 33. Физика и математика. – Одесса: Черноморье, 2010. -С.72-73.
- Работы, опубликованные в тезисах и докладах Всероссийских конференций:*
26. Барышев М. Г. Куликова Н. Н. Сидоров И. В. Использование транзисторных структур с распределенным эмиттером в медицинских приборах и аппаратах пищевой промышленности: Тезисы Всероссийской научно-технической дистанционной конференции «Электроника», Москва, 19-23 ноября 2001г.
 27. Сидоров И. В. Исследование воздействия акустических колебаний на биообъекты: Материалы седьмой заочной всероссийской научно-технической конференции «Методы и средства измерений». - Нижний Новгород, 2003.–С.6.
 28. Сидоров И.В., Барышев М.Г. Влияние акустических колебаний на микроорганизмы и органические жидкости: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Биотехнические и медицинские аппараты и системы». - Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2003. – С.136-137.
 29. Сидоров И.В., Барышев М.Г. О влиянии акустических колебаний на изменение электропроводности водных растворов глюкозы: Материалы восьмой Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы математики и естествознания» - Н. Новгород:- 2004.– С.12.
 30. Сидоров И.В. Изменение физиологии табака вследствие озвучивания. Исследование качества табачной рассады от степени озвучивания семян: Современные наукоемкие технологии, заочная электронная конференция, 2006. – С.40-41.
 31. Сидоров И.В. Токовая неустойчивость с S-образной вольт-амперной характеристикой в двухкомпонентной слоистой структуре: Сборник материалов второй Всероссийской конференции молодых ученых «Физика и химия высокоэнергетических систем». Томск: ТГУ, 2006. – С. 117-119.
 32. Сидоров И.В. Двухкомпонентная слоистая структура, состоящая из органических красителей Сборник трудов первой Всероссийской конференции «Физика и технология аморфных и наноструктурированных наноматериалов и систем». Рязань: РГРУ, 1-6 декабря 2008. – С.140-144.
 33. Сидоров И.В. Модель неустойчивости тока в двухкомпонентной слоистой структуре, состоящей из органических полупроводников Сборник материалов пятой Всероссийской конференции молодых ученых «Физика и химия высокоэнергетических систем» Томск: ТМЛ-Пресс, 2009. – С.364-367.